

УДК 629.7.073: 629.735.35

РАЗРАБОТКА РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ПОЛЕТОВ С ВОДНОЙ ПОВЕРХНОСТИ НА САМОЛЕТЕ Бе-200ЧС

Г.В. КОВАЛЕНКО

Целью данной статьи является постановка проблемы теоретического обоснования практических рекомендаций летным экипажам самолетов-амфибий, направленных на повышение безопасности полетов, на примере самолета Бе-200ЧС. В статье рассматривается метод оценки профиля волны для обеспечения безопасного пилотирования самолета-амфибии Бе-200ЧС на этапах взлета, посадки и при осуществлении движения по воде. Рассматриваются эксплуатационные ограничения при взлете и посадке на взволнованную поверхность моря.

Увеличение длины волн приводит к росту перегрузок, появлению неустойчивости движения на разбеге или пробеге. Показано, что при отношении длины волны к длине корпуса лодки равном 1,15–1,20 устойчивость может нарушиться до такой степени, что перегрузки и рикошеты достигнут предельных значений по условиям эксплуатации самолета.

Рассматриваются особенности полетов с посадками на закрытых акваториях в условиях волнения. Кроме того рассмотрены особенности полетов с посадками в море в условиях ветрового волнения и полеты с посадками в море на длинные волны зыби. В работе обсуждаются факторы, которые необходимо учесть при выборе курса взлета и посадки. В статье приведены правила оценки волнения пилотом с борта самолета.

Ключевые слова: погода, волна, пилотирование, оценка, самолет-амфибия, взлет, посадка, движение по воде, эксплуатационные ограничения, безопасность полетов, перегрузка, зыбь.

В отличие от большинства стран, где после Второй мировой войны интерес к гидроавиации значительно снизился, наша страна не прекращала усилий в деле развития морских и амфибийных воздушных судов (ВС), поэтому объективно занимает сегодня в этой сфере лидирующие позиции. В СССР еще в 30-е годы сложилась научная школа гидродинамики, опиравшаяся на развитую систему теоретических и экспериментальных методов [1–9].

Типичный современный представитель класса летающих лодок – самолет-амфибия Бе-200ЧС Таганрогского авиационно-технического комплекса им. Г.М. Бериева. В нем реализованы самые передовые достижения в области отечественной аэродинамики и гидродинамики [10].

Не только создание новых материалов, двигателей или конструктивных решений, но и совершенствование методик подготовки летного состава, обоснование правильности принятия решения на выполнение полета существенно расширяет область эксплуатации авиации и является залогом повышения уровня безопасности полетов.

Если при эксплуатации гидросамолетов и самолетов в воздухе нет существенного различия между ними, то эксплуатация гидросамолета на водной поверхности значительно отличается от эксплуатации самолета на земле.

Эксплуатационные ограничения при взлете и посадке на взволнованную поверхность моря целесообразно вначале рассмотреть применительно к двумерному регулярному волнению, у которого все волны одинаковой высоты и длины, а затем решить вопрос, можно ли полученные данные использовать как эксплуатационные ограничения для выполнения взлетов или посадок в условиях реального волнения моря.

Допустим, что на поверхности моря образовалось интересующее нас волнение с параметрами двумерных регулярных волн. За исходные условия возьмем волнение с предельно крутыми волнами высотой 1 м. Такие волны имеют крутизну $\frac{1}{7}$, что соответствует их длине

7 м. По мере увеличения длины, волны уменьшают не только свою крутизну, но и, соответственно, меняют свой профиль. Из практики известно, что при отношении длины волны к длине корпуса ВС равном 0,75, самолет не испытывает значительных продольных или вертикальных колебаний, так как его корпус лежит на двух гребнях волн. Следовательно, для таких условий волнения основным эксплуатационным ограничением могут быть предельно допустимые перегрузки, а их несложно увязать с максимальной высотой волн, при которых допускается выполнение взлетов и посадок на взволнованную поверхность моря.

Дальнейшее увеличение длины волн приведет к росту перегрузок, появлению неустойчивости движения самолета на разбеге или пробеге. При отношении длины волны к длине корпуса лодки, равном 1,15–1,2, устойчивость может нарушиться до такой степени, что размахи колебаний по углам φ (угол между нижней строительной горизонталью и плоскостью свободной водной поверхности; этот угол называют углом дифферента), перегрузки и рикошеты достигнут предельно допустимых значений по условиям эксплуатации самолета. Выход на опасные режимы движения весьма вероятен.

Рассмотрим другой случай. При той же высоте волн будем не увеличивать их длину, а уменьшать. За исходную длину возьмем такую, которая была бы равна дистанции разбега или пробега. Вначале пилот может и не почувствовать признаков нарушения устойчивости или перегрузок, но затем, по мере уменьшения длины, вновь появится раскачивание с увеличением размахов по углам φ . Наконец, наступает предел, выраженный отношением h/λ , далее которого уменьшение длины небезопасно.

Полеты при других значениях высоты волн дадут ряд новых предельно допустимых отношений h/λ , (где h – высота, м (превышение вершины волны над ее подошвой); λ – длина, м (горизонтальное расстояние между вершинами двух смежных гребней на волновом профиле), при которых возможно выполнение нормальных взлетов и посадок. Если точки, соответствующие полученным отношениям, в системе координат h и λ соединить, будем иметь линию, аналогичную кривой на рис. 1.

Кривую можно принять за эксплуатационные ограничения при использовании самолета с посадками в море, но только для условий волнения с двумерными регулярными волнами одинаковой высоты и длины. Такого волнения практически нет. Значит, эксплуатационными ограничениями кривую можно назвать лишь тогда, когда она будет соответствовать условиям смешанного волнения моря. Новая кривая будет выглядеть несколько иначе. Рассмотрим этот вопрос более подробно. При выполнении взлетов и посадок на воду можно встретиться с тремя условиями волнения, а также их комбинацией, каждое из которых по-своему будет определять поведение самолета на разбеге или пробеге.

Полеты с посадками на закрытых акваториях в условиях волнения. Взлеты и посадки выполняются, как правило, против ветра и волн. Рассмотрим, с какими параметрами волн можно встретиться при ветре 10 и 15 м/с на поверхности достаточно глубокой акватории, если длина ее по направлению взлетно-посадочной полосы (ВПП) равна 8 км.

Длина ВПП достаточна для того, чтобы при ветре 10 м/с в центральной ее части высота волн была 0,72 м, а у подветренного берега 1 м (рис. 2 и 3).

Длина таких волн 9 и 14 м, что соответствует крутизне 1/12,5 и 1/14. При ветре 15 м/с высота волн равна соответственно 0,9 и 1,42 м, длина – 10 и 18 м, крутизна – 1/11 и 1/12,6.

По характеристикам такие параметры волн соответствуют начальной стадии развития ветрового волнения. Несмотря на то что волнение имеет все признаки нерегулярности, волны еще не успели образовать четко выраженные группы. На поверхности рассматриваемой акватории нет параметра, характеризующего волнение и который мог бы быть причиной появления неустойчивости на взлете или посадке.

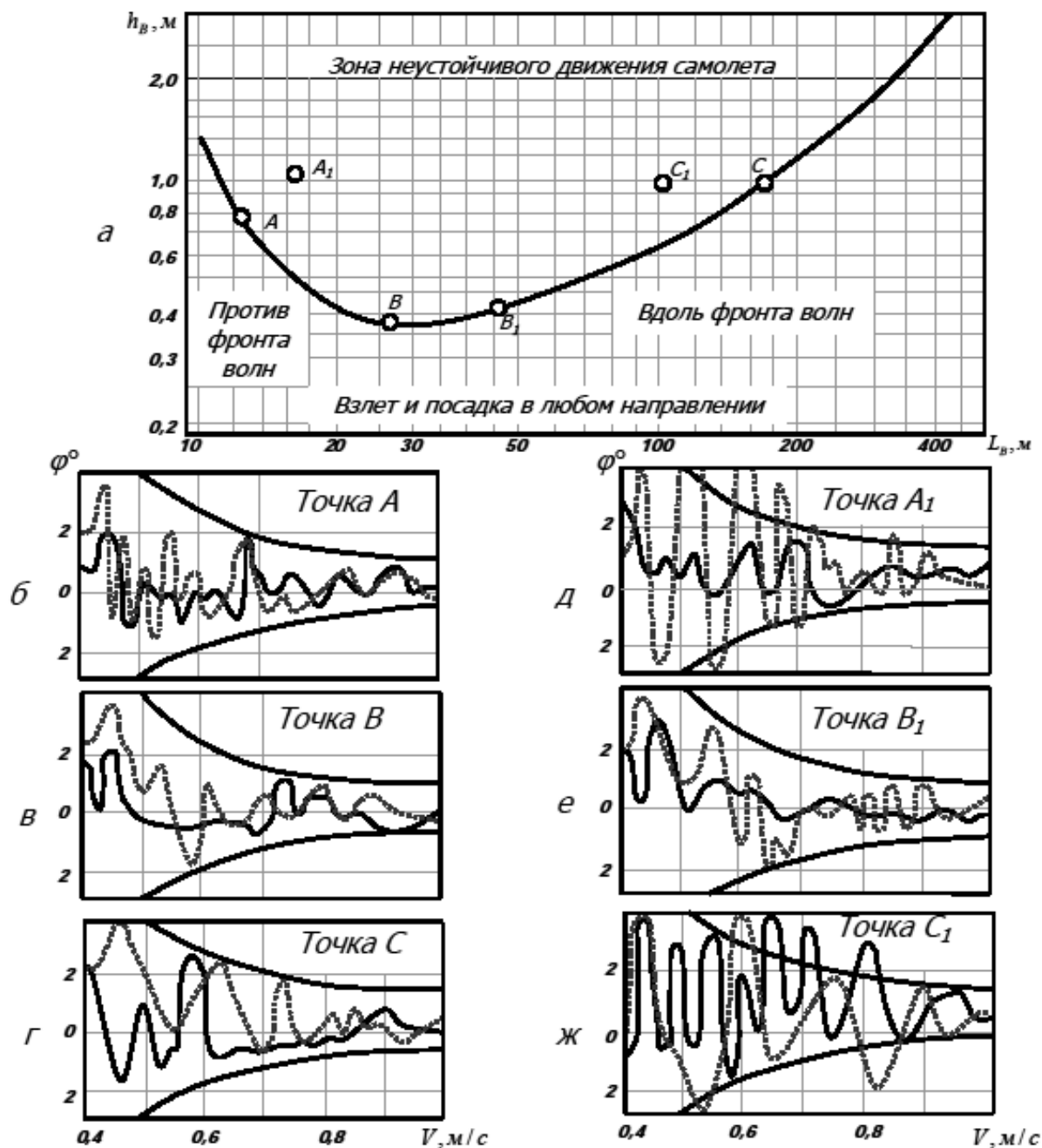


Рис. 1. Принципиальная схема построения эксплуатационных ограничений для взлета и посадки самолета в море:

- а, б, в, г* – примеры устойчивого движения самолета в условиях, соответствующих положению точек *А, В, С* относительно кривой (сплошной кривой показано изменение угла φ на взлетах, пунктирной – на посадках, 0 – рекомендуемые углы φ для взлета и посадки);
д, е, ж – примеры неустойчивого движения самолета в условиях, соответствующих положению точек *А₁, В₁, С₁* относительно кривой

По этой причине эксплуатационные ограничения для данных условий волнения будут определяться предельно допустимыми перегрузками конструкции, которые увязываются с высотой волн для взлета и посадки на воду. Предположим, что пилот освоил в данных условиях взлет и посадку при высоте волн 1 м. Достаточно ли приобретенного опыта для выполнения посадок в море, если высота волн в обоих случаях одинакова и составляет 1 м? Механически переносить приобретенный опыт полетов с закрытых акваторий в открытое море, по нашему мнению, нельзя.

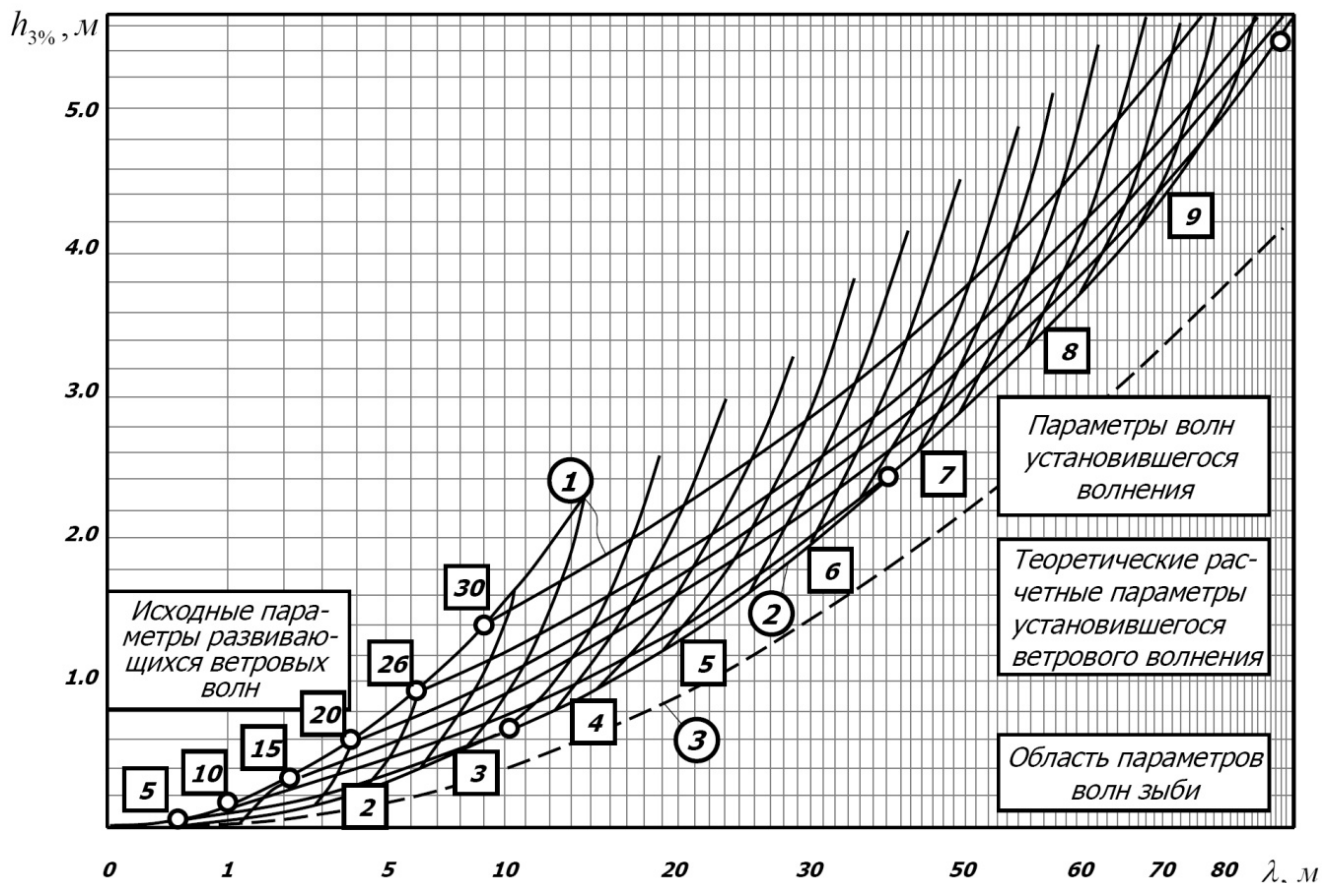


Рис. 2. Взаимосвязь параметров развивающегося ветрового волнения:

T_n — период наблюдаемых волн в составе групп, с;

числа в квадратах — значения скорости ветра, м/с;

цифры 1, 2, 3 в кругах относятся к кривым исходных параметров волн

Полеты с посадками в море в условиях ветрового волнения. Может ли быть на поверхности моря волнение, наблюдаемое на закрытых акваториях? Да, но очень редко. Его можно встретить на очень узком участке поверхности моря на небольших удалениях от наветренного берега.

Допустим, что экипаж определил с борта своего самолета параметры наиболее крупных ветровых волн. Высота их равна 1 м, а длина соответствует отношению $\lambda/L_{кор} = 0,8$. Волнение характеризуется как ветровое установившееся.

Применительно к ранее проводимым экспериментам с двухмерными волнами условия для выполнения посадки в море идеальные. В действительности это выглядит несколько иначе.

Анализируя поведение самолета при взлетах и посадках в условиях смешанного ветрового волнения на море, отмечаем, что степень нарушения устойчивости и величины перегрузок зависят от параметров волн, входящих в состав групповых, и расстояния между группами. В то же время расстояние между группами зависит от крутизны волн, входящих в их состав, т. е. от величин h и λ . Если для аэродромных условий применительно к ранее рассмотренным нами условиям в центральной части ВПП расстояние между группами только еще обозначается и не превышает 30-35 м, то для реального установившегося ветрового волнения на поверхности моря оно равно примерно 7λ или $\lambda_{cp} = 110$ м.

На рис. 4 наглядно показано, как три параметра ветрового волнения, рассмотренные нами, создали сложные условия для пилота при взлете. Если кривая на рис. 1 рассчитана с учетом этих трех параметров или нанесена по результатам экспериментов в реальных условиях, ее

можно принять за эксплуатационные ограничения, и она будет одинаково верна для ветрового волнения как в море, так и на закрытых акваториях.

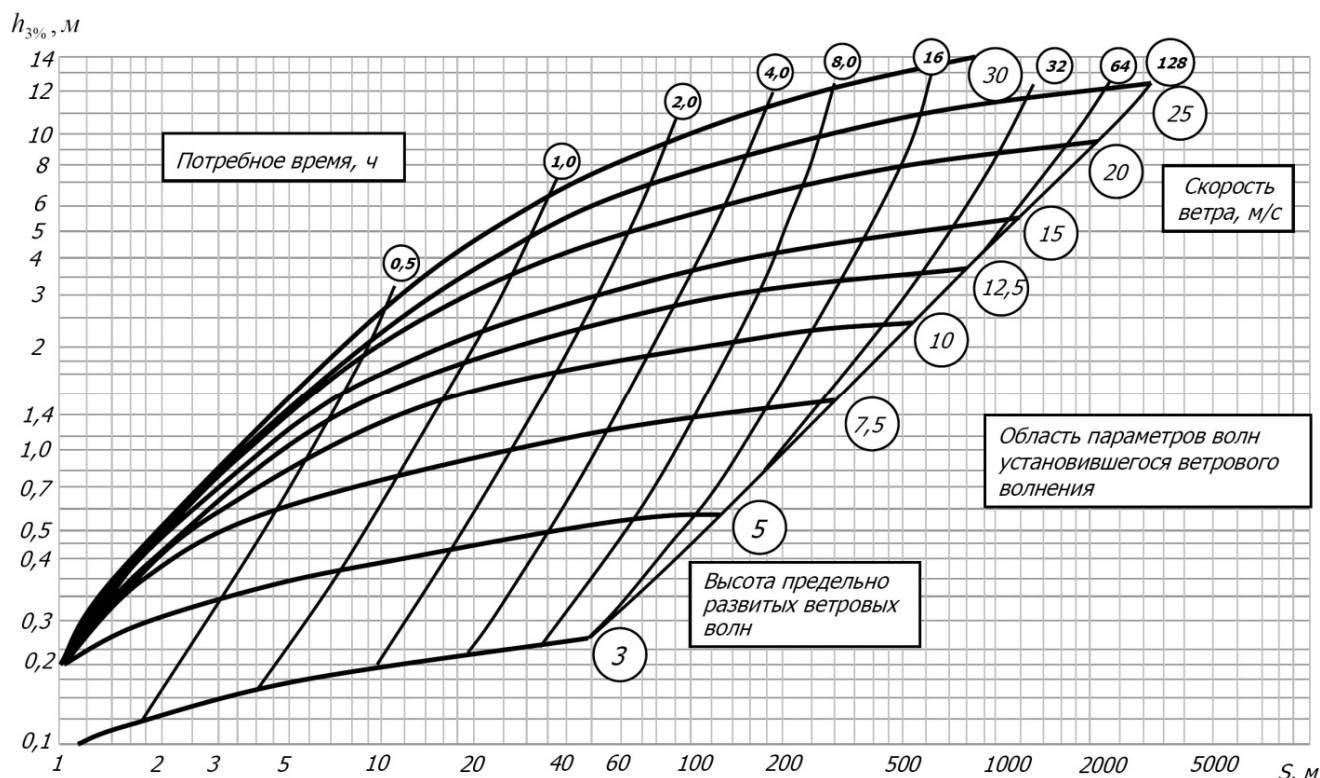


Рис. 3. Потребное время и расстояние для развития ветровых волн до высот 3 % обеспеченности

Полеты с посадками в море на длинные волны зыби. Мы рассмотрели, как по мере уменьшения длины волн разной высоты был получен ряд отношений h/λ , позволивший построить правую часть кривой на рис. 1. Требования этой части кривой одинаково верны как для условий двумерных регулярных волн, так и для реального волнения типа «зыбь». Для самолетов с большими дистанциями разбега или пробега применительно к третьим условиям волнения на поверхности моря редко можно встретить крутизну волн, обеспечивающую нормальные условия для взлета или посадки против их фронта. Однако ее можно создавать искусственно – выбором направления движения самолета относительно фронта волн. Профиль пересекаемых волн по курсу движения самолета на разбеге или пробеге пилоты называют встречным. Параметры волн, которые мы рассматривали применительно к трем условиям волнения, можно заменить параметрами встречного профиля L_B , а крутизну соответственно h/L_B . На рис. 1 видно, что кривая ABC разделяет область возможных отношений h/L_B на две зоны. Отношения, расположенные ниже кривой, обеспечивают нормальные условия для взлетов и посадок как по устойчивости, так и по величинам возникающих перегрузок. В зависимости от конструктивных особенностей самолета кривая эксплуатационных ограничений может менять свой наклон, смещаться относительно осей координат и видоизменяться по форме. Кроме того, каждый тип самолета может иметь несколько кривых. Например, самолет «Каталина» (США) имел две кривые: одну для взлетов и посадок на первый редан (редан – уступ на днище лодки, назначение которого обеспечивать малое гидродинамическое сопротивление на режиме глиссирования, что позволяет сократить длину разбега), а другую только для посадок на третий редан; самолет «Маринер» (США) – одну кривую для взлетов, а другую для посадок; самолет «Си Мастер» (США) – одну кривую, как для взлетов, так и для посадок.

Все кривые эксплуатационных ограничений имеют прогиб вниз (рис. 1, а), поэтому следует критически рассматривать данные, появляющиеся в печати о мореходных каче-

ствах того или другого самолета и его способностях выполнять взлеты и посадки при высоких волнах.

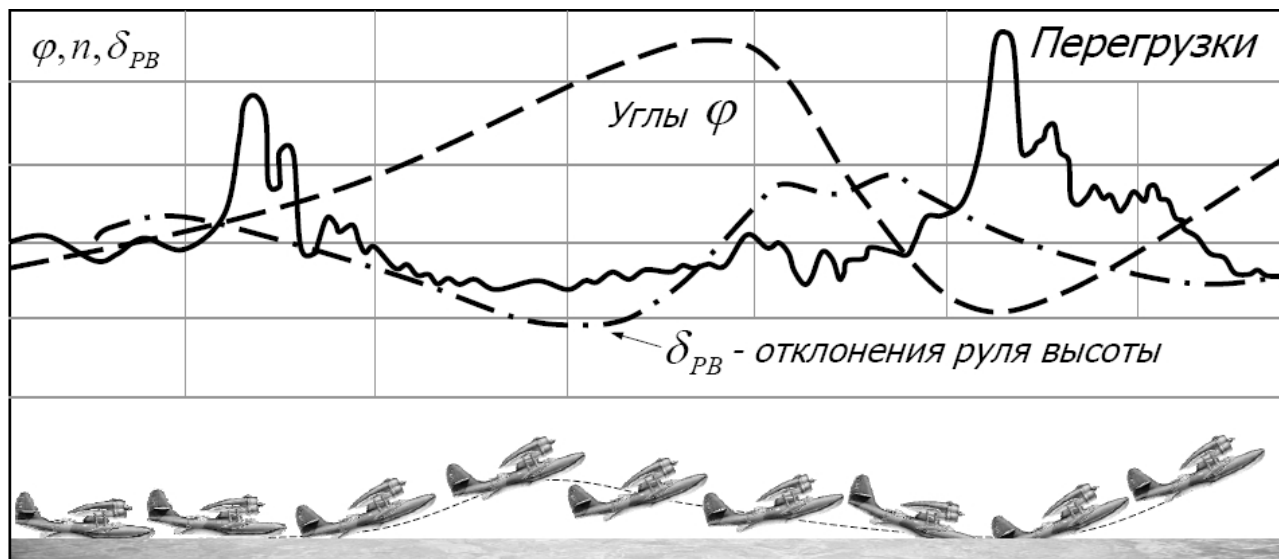


Рис. 4. Взаимосвязь перегрузок с нарушением устойчивости движения самолета на взлете

Конечно, для демонстрационных полетов можно использовать условия волнения, позволяющие реализовать крайние точки кривой эксплуатационных ограничений, особенно в тех случаях, когда самолет имеет укороченные дистанции разбега и пробега, а пилоту предоставлена возможность выполнять приводнение в намеченной точке выбранной волны, т.е. использовать второй метод выполнения посадок в море.

На рис. 1, б-ж внизу для двухреданных самолетов с увеличенными дистанциями разбега и пробега показаны типичный вид границ, допустимых отклонений угла φ по скорости и примеры нарушения устойчивости движения самолета на взлетах и посадках в условиях, соответствующих положению точек A_1 , B_1 , C_1 относительно кривой эксплуатационных ограничений.

Параметры встречного профиля волн. Конечная цель оценки наблюдаемого волнения состоит в том, чтобы в конкретно сложившихся гидрометеоусловиях из множества возможных направлений выбрать одно, которое обеспечивало бы безопасность и нормальные условия для выполнения взлета или посадки на взволнованную поверхность моря. Обычно под направлением взлета или посадки понимают курс самолета относительно фронта подвижных волн, но иногда – сечение волн под углом β . Так, в наставлениях и инструкциях для выполнения взлетов, преднамеренных и аварийных посадок рассматриваются и рекомендуются два возможных направления: вдоль или против фронта волн, т. е. при углах β , равных 0 или 90°. Эти рекомендации верны для условий простого волнения, состоящего из одной системы ветровых волн или зыби [3, 5, 7, 8, 10–12]. При смешанном волнении, в образовании которого принимают участие несколько систем волн, распространяющихся в разных направлениях, правильное направление сечения волн для взлета или посадки может существенно отличаться от рекомендуемых. Для того чтобы обеспечить приемлемые условия для разбега (пробега) самолета на выбранном направлении сечения β , необходимо уметь рассчитывать взлетно-посадочный курс. С целью упрощения за курс будем принимать угол α , заключенный между осью самолета и линией фронта волн (вдоль гребня).

В теории волнения характеристику волн определяет их профиль. Каждому значению крутизны соответствует свой профиль волны. Сечения волн под разными углами относительно их фронта представляют те же профили волн, но растянутые в направлениях β . Профили сечений в направлениях β не зависят от того, рассматриваем мы подвижные или неподвижные волны. Длина профиля сечения λ_c равна $\lambda/\sin\beta$.

При одинаковых высоте и длине профиль сечения трехмерных волн существенно отличается от сечения двумерных. Он может иметь искаженный вид и меньшую крутизну. Встречный профиль – это профиль пересекаемых волн по курсу движения самолета. Длина его L_B есть путь, пройденный самолетом за время пересечения двух соседних вершин волны. L_B – величина переменная и зависит от длины волны, курса посадки и соотношения скоростей волн и самолета [3, 5]:

$$\pm L_B = \frac{\lambda V_c}{\pm \sin \alpha V_c - C} \quad (1)$$

или

$$\pm L_B = \frac{\lambda}{\pm \sin \alpha - C/V_c}. \quad (2)$$

При выборе курса взлета и посадки необходимо учесть:

- курс и наблюдаемое движение самолета относительно фронта подвижных волн (α и β) совпадают только при углах 90° и -90° ;
- с борта самолета визуально летчик может оценить лишь сечение волн по направлениям β , но не параметры встречного профиля. Если возникает необходимость для взлета или посадки на выбранном направлении сечения, курс и параметры встречного профиля необходимо рассчитывать;
- максимальное значение L_B при взлетах и посадках вдоль гребня ($\beta = 0$) обеспечивается при выполнении взлетов или посадок с курсами

$$\sin \alpha = C/V_c ;$$

- движение самолета с постоянными курсами и переменной скоростью сопровождается пересечением волн под разными углами β . Даже в условиях двумерного регулярного волнения каждой скорости движения самолета будут соответствовать свои параметры встречного профиля;
- при положительных значениях знаменателя формул (1)–(2) самолет будет пересекать удаляющиеся от места приводнения гребни волн, а при отрицательных – приближающиеся. В этом физический смысл знаков «плюс» и «минус», стоящих перед расчетной величиной L_B ;
- всякое сечение волн имеет одинаковый профиль для $+\beta$ и $-\beta$, однако при выполнении взлетов или посадок в этих направлениях параметры встречного профиля будут разными. При положительных значениях β длина встречного профиля всегда будет больше.

Для того чтобы решить вопрос о возможности выполнения взлета или посадки в условиях двумерного регулярного волнения, достаточно располагать данными о длине и высоте волн и потребной длине встречного профиля. Высота волн определяет потребную длину встречного профиля, а их длина – ширину сектора возможных направлений взлета или посадки, в пределах которого обеспечивается L_B не менее минимально потребных значений.

Вариант расчета для обоснования правильности принимаемого решения:

- по потребной длине L_B рассчитать сектор возможных курсов для взлета или посадки, в пределах которого параметры встречного профиля не будут меньше потребных [3]:

$$\pm \sin \alpha = \frac{\lambda}{\pm L_B} + \frac{C}{V_c}, \quad (3)$$

где C – скорость волн, м/с;

– за курс посадки или взлета принимать среднее значение α в секторе возможных курсов.

При расчетах следует брать скорость самолета, наиболее неблагоприятную по устойчивости его движения при взлете или посадке. В какой степени возможны изменения перегрузок за счет изменения суммарной скорости встречи самолета с удаляющимися или приближающимися волнами в секторе рекомендуемых направлений для взлета или посадки? При взлетах и посадках против фронта ветровых волн суммарная скорость встречи меньше, чем в момент приведения в условиях, близких к штилевым. На изменение скорости встречи самолета с волнами изменение путевой скорости за счет ветра влияет в большей степени, чем скорость движения волн.

Вопрос о перегрузках при отсутствии ветра над морем применительно к условиям волнения типа «зыбь» целесообразно рассмотреть более подробно. Предложенная выше методика расчета предусматривает возможность встречи с удаляющимися и приближающимися волнами при движении самолета в пределах ширины сектора допустимых направлений. Как при этом будут меняться величины возможных перегрузок за счет изменения суммарной скорости встречи с волнами, если взлет или посадка выполняется на самолете с эксплуатационными ограничениями. Рассмотрим вариант регулярного волнения типа «зыбь», имеющее высоту волны равную 1 м.

Длина волны 30 м ($C = 6,84$ м/с). Скорость самолета (условно) равна 40 м/с. В соответствии с рис. 4 находим, что для нормального взлета или посадки в условиях волнения с высотой волн 1 м потребная длина встречного профиля должна быть не менее 166 м. Рассчитаем ширину сектора допустимых направлений движения самолета на разбеге или пробеге. С этой целью используем ранее рассмотренную зависимость (3):

$$\begin{aligned}\pm \sin \alpha &= 30/\pm 166 + 6,84/40 = \pm 0,1805 + 0,171; \\ \sin \alpha_1 &= 0,3515, \alpha_1 = 20^\circ 35'; \\ \sin \alpha_2 &= -0,0095, \alpha_2 = 0^\circ 35'.$$

С помощью зависимости (3) для крайних направлений сектора рассчитаем суммарную скорость встречи самолета с волнами:

$$\begin{aligned}V_{01} &= \sqrt{40^2 + 6,84^2} - (2,40 \cdot 6,84 \cdot 0,3515) = 38,1 \text{ м/с} \\ V_{02} &= \sqrt{40^2 + 6,84^2} - (2,40 \cdot 6,84 \cdot 0,0095) = 40,7 \text{ м/с}\end{aligned}$$

Отношение суммарной скорости к скорости самолета будет составлять:

1. $38,1/40 = 0,955$;
2. $40,7/40 = 1,015$.

Изменение перегрузок за счет изменения суммарной скорости встречи с волнами будет равно 0,912 и 1,03 соответственно.

Следовательно, в пределах сектора допустимых направлений для взлетов и посадок встреча с попутными и встречными волнами при одинаковой длине встречного профиля не приводит к существенным увеличениям перегрузок. В интересах простоты изложения вопроса о параметрах встречного профиля и порядка использования кривых эксплуатационных ограничений для обоснования принимаемых решений волнение рассматривалось в упрощенном варианте, т. е. с одной системой двухмерных регулярных волн. В действительности смешанное волнение существенно отличается от принятых нами условий, имеет свои особенности, которые нельзя не учитывать. Возникает необходимость вновь вернуться к смешанному волнению моря и ответить на ряд вопросов, в частности: что такое смешанное волнение моря и какими параметрами оно характеризуется? Какая взаимосвязь между параметрами волн, наблюдаемых с борта самолета? Какие параметры смешанного волнения моря нам необходимы для обоснова-

ния принимаемых решений (из возможных)? Как их получить при наблюдениях с борта самолета? Насколько достоверны полученные данные?

Оценка волнения моря с борта самолета. Помимо хорошего знания своего самолета и его эксплуатационных ограничений пилоту необходимо уметь определять параметры встречного профиля в пределах ширины сектора допустимых отклонений относительно лучшего направления для взлета или посадки в конкретно сложившихся гидрометеоусловиях. Это возможно при условии правильной оценки наблюдаемого волнения с борта самолета.

Безусловно, задачи оценки волнения, выбор лучшего направления для взлета или посадки независимо от метеорологических условий могут решаться техническими средствами. Однако при любых обстоятельствах экипаж всегда стремится убедиться в их правильности визуальным наблюдением.

С выходом в заданный район экипаж обязан оценить и проанализировать наблюдаемое волнение с целью получить необходимые данные для обоснования возможности произвести посадку в море. Для этого ему необходимо определить: тип наблюдаемого волнения; направления распространения волн для каждой системы волн; периоды волн, входящих в состав групп; скорость и направление ветра над морем; общую высоту волн и высоту волн 3%-ной обеспеченности для каждой системы волн смешанного волнения; системы волн, которые нельзя не учитывать при обосновании принимаемых решений.

Поверхность моря можно рассматривать с любой высоты полета, но определять параметры волн необходимо в строго определенном диапазоне. С большой высоты волнение выглядит как застывший процесс. Пределы по остроте зрения, которые у нормального человека не превышают 1, затрудняют обнаружение неподвижных опорных точек на поверхности моря, относительно которых можно заметить перемещение волн. С высоты полета 1000–1500 м хорошо просматривается общая схема волнения, составляющие ее системы и направления их фронтов. При смешанном волнении необходимо предварительно оценить каждую из наблюдаемых систем волн. Если представляется возможность, с этой целью лучше всего выполнить вираж с небольшим креном и просмотреть системы с разных направлений. Большую крутизну имеют волны тех систем, которые просматриваются на всех курсах полета и имеют лучшую контрастность, меньшее количество волн между группами, искаженный фронт и короткую длину по фронту. Волны, имеющие ровный фронт, большую длину по фронту, большое количество волн между группами, как правило, имеют малую крутизну. Волны с периодом до 5 с хорошо просматриваются с высоты полета 300 м, а с периодом 5–10 с – в диапазоне высот 300–600 м. Для определения периода волн визуально необходимо минимальное время t , в течение которого волны, входящие в состав групп, находились бы в поле зрения летчика.

С борта самолета летчик может оценивать параметры волн, наблюдая за поверхностью моря в секторе курсовых углов 30–90° по горизонту и вниз под углом 30–45°. Следовательно, минимальная высота полета для определения периодов волн будет равна

$$H_{\min} \sim V_c T_n / 3,$$

где V_c – скорость самолета, м/с;
 T_n – период наблюдаемых волн, с.

Для визуального определения параметров волн можно использовать метод сравнения. Сущность его заключается в том, что, определив параметры волн одной из систем, используют их как масштаб для определения других методом сравнения. Допустим, мы определили, что длина волн, входящих в состав групп основной системы, равна 40 м. Волны зыби системы в два раза короче и имеют период $T_n = 4$ с. Тогда в соответствии с графиком, приведенным на рис. 5, находим: волнам с периодом 4 с и длиной 20 м, входящим в состав групповых, соответствует высота 3%-ной обеспеченности 0,35 м. При смешанном волнении определяется высота волн тех систем, которые могут оказать влияние на устойчивость движения самолета при взлете или по-

садке. Такими системами, как правило, бывают ветровое волнение, главная и первая сопутствующая зыбь.

Не всегда система с более высокими волнами является самой опасной. Наиболее опасной следует считать ту систему волн, которая своими параметрами предъявляет более жесткие требования к курсу посадки, т. е. ту, у которой минимально потребная длина встречного профиля обеспечивается в более узком секторе допустимых направлений при разбеге или пробеге.

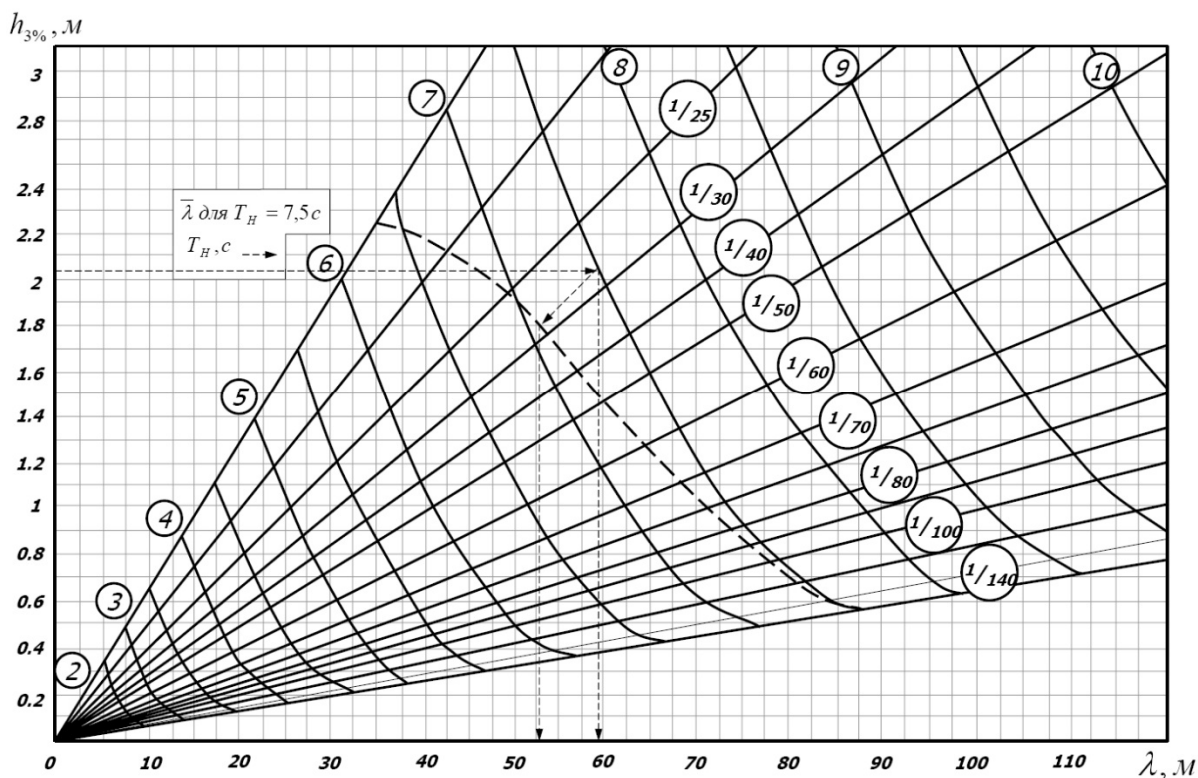


Рис. 5. Взаимосвязь параметров волн зыби разной крутизны, входящих в состав групп

Безопасность посадки самолета на взволнованную поверхность моря определяется степенью обеспечения устойчивости его движения и величиной возникающих перегрузок. Пренебрежение ограничениями приводит к тому, что самолет может выйти на такие режимы движения, которые не допускаются по условиям эксплуатации. Предел допустимой степени нарушения устойчивости и максимальных значений перегрузок удачно увязывается с предельно допустимыми параметрами встречного профиля для взлетов и посадок в различных условиях волнения моря. Эксплуатационные ограничения, представленные потребной длиной встречного профиля для волн разной высоты, позволяют нам теоретически обосновать правильность принимаемых решений на посадку в море и практически реализовать возможности, заложенные в конструкции самолета. Кроме того, это позволяет вплотную подойти к автоматизации выполнения посадок в море.

В заключение сформулируем выводы.

Принимать высоту волн за основу эксплуатационных ограничений без связи ее с длиной нельзя, так как это ограничивает использование самолета с посадками в море. Высота волн как эксплуатационное ограничение отражает больше местные условия при экспериментах, чем возможности, заложенные в конструкции самолета.

Максимальная высота волн, при которых можно выполнять взлеты и посадки в море, есть величина переменная и зависит от располагаемой длины встречного профиля.

В целях безопасности полетов и расширения возможностей использования самолетов с посадками в море целесообразно пересмотреть существующую систему эксплуатационных

ограничений. Это позволит экипажам выполнять взлет и посадку при высоте волн, значительно превышающих существующие ограничения, или, напротив, в интересах безопасности не выполнять их даже в тех случаях, когда степень волнения ниже допустимой.

В основе опыта полетов с посадками в море заложено умение пилота на практике реализовать кривую эксплуатационных ограничений в сложившихся гидрометеоусловиях.

Для наблюдаемых нами волн в составе групп нет постоянного значения коэффициента, определяющего взаимосвязь длины волн с квадратом их периода. В зависимости от этапа развития или затухания волн коэффициент изменяется в пределах $1,56 - 0,860 - 1,56$. Следовательно, до уточнения теории групповых волн длину их с помощью наблюдаемого периода целесообразно рассчитывать с использованием предложенных номограмм.

Независимо от совершенства приборов требование уметь оценивать и принимать обоснованные решения на основе визуальной оценки волнения остается в силе. Отсутствие противоречий между данными прибора и визуальной оценкой придает экипажу уверенность, которая увеличивает вероятность успешного выполнения поставленной задачи с посадкой в море.

В интересах сокращения сроков подготовки экипажей к выполнению задач с посадками в море необходимо научить экипажи оценке наблюдаемого волнения в процессе выполнения любых полетов над морем, для чего целесообразно ставить соответствующие задачи, проводить общие разборы с докладом схем принятых решений, оценивать их правильность с помощью данных фотоконтроля, аэрофотосъемку целесообразно выполнять с высоты 400–600 м с курсом $\pm 45^\circ$ к фронту основной системы волн.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Абрамов И.П.** Влияние геометрических параметров днища на посадочный удар самолета / И.П. Абрамов, А.И. Тихонов. М., 1968.
2. **Johnson E.R.** American Flying Boats and Amphibious Aircraft. NY: McFarland, 2009. 376 p.
3. **Волков Г.** Основы гидроавиации. М., 1940.
4. **Volker Haas.** Amphibious Aircrafts (short overview), Mainz, Germany: Pedia Press GmbH, 2010. 110 p.
5. **Косоуров К.Ф.** Теоретические основы гидроавиации. М., 1961.
6. **Самсонов П.Д.** Проектирование и конструкции гидросамолетов. М., 1936.
7. **Тихонов А.И.** Исследование продольной качки моделей гидросамолетов на глиссировании. М., 1968.
8. **Кадомцев Б.Б.** Волны вокруг нас / Б.Б. Кадомцев, В.И. Рыдник. М., 1981.
9. **Кудрявая К.И.** Морские гидрологические прогнозы / К.И. Кудрявая, Е.И. Серяков, Л.И. Скриптунова. Л., 1974.
10. **Шулейкин В.В.** Физика моря. Л., 1972.
11. **Баском В.** Волны и пляжи. М., 1966.
12. **Руководство полетной эксплуатации самолета-амфибии Бе-200ЧС.** М., 2012.

RECOMMENDATION DEVELOPMENT OF WATER MANEUVERING OF Be-200

Kovalenko G.V.

The goal of this article is to discuss the problem of theoretical justification of practical recommendations to sea-plane crews. These recommendations are aimed at increasing flight safety (Be-200 as an example). In the article the authors consider the method of evaluation of wave-profile for Be-200 flight safety at take off and on landing and during water maneuvering. The article deals with operational limits at take off and landing on rough surface of the sea.

The increase of a wave length causes the overloading and instability while take off rolling or rollout. It is proved that when the ratio is (1.15–1.20) a wave length and a body of a plane, the stability may be unbalanced to such an extent that overloads and rebounds will be of maximum values according to aircraft operational conditions.

The article deals with peculiarities of flight with landing on the rough sea. Besides the authors consider the peculiarities of flights with sea landing on the long waves of ripple. The article also deals with the factors needed to be taken into consideration when choosing take off and landing direction. The rules of pilot's evaluation of the sea roughness from the board of the plane are given in the article.

Key words: weather, wave, piloting, evaluation, seaplane, take off, water maneuvering, operational limits, flight safety, overload, ripple.

REFERENCES

1. **Abramov I.P., Tikhonov A.I.** Effect of the geometric parameters of aft end on landing impact of a plane. Moscow, 1968. [In Russian].
2. **Johnson E.R.** American Flying Boats and Amphibious Aircraft. NY, McFarland, 2009, 376 p.
3. **Volkov G.** The Fundaments of Hydroaviation. Moscow, 2012. [In Russian].
4. **Volker Haas.** Amphibious Aircrafts (short overview), Mainz, Germany: Pedia Press GmbH, 2010, 110 p. [In Russian].
5. **Kosourov K.F.** The Theoretical of Fundaments of Hydroaviation. Moscow, 1961. [In Russian].
6. **Samsonov P.D.** The Projection and the Construction of Seaplane. Moscow, 1936. [In Russian].
7. **Tikhonov A.I.** The Investigation of swinging pitching of the Model of Seaplane. Moscow, 1968. [In Russian].
8. **Kadomtsev B.B., Rydnik V.I.** The Waves around People. Moscow, 1981. [In Russian].
9. **Kudryavaya K.I., Seryakov E.I., Skriptunova L.I.** The Sea Hydrological Forecasts. Leningrad, 1974. [In Russian].
10. **Shuleykin V.V.** The Physics of the Sea. Leningrad, 1972. [In Russian].
11. **Baskom V.** The Waves and the Beaches. Moscow, 1966. [In Russian].
12. **Airplane Flight Manual of Amphibian Be-200.** Moscow, 2012. [In Russian].

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ

Коваленко Геннадий Владимирович, заведующий кафедрой № 21 летной эксплуатации Санкт-Петербургского государственного университета гражданской авиации, доктор технических наук, профессор, электронный адрес: kgvf@inbox.ru.